

Möglichkeiten zur Reduzierung der Umweltauswirkungen des Flugverkehrs

Es gibt mehrere Möglichkeiten bei der Reduzierung der Umweltauswirkungen des Flugverkehrs anzusetzen. Berücksichtigt werden muss aber stets, dass der Flugverkehr eine sehr starke internationale Komponente aufweist. Werden beispielsweise ordnungsrechtliche Maßnahmen diskutiert, so muss beachtet werden, dass diese auf internationaler zumindest aber auf europäischer Ebene eingeführt werden. Andernfalls besteht stets das Risiko von Wettbewerbsverzerrungen. Zudem bestehen gerade durch internationale Übereinkommen rechtliche Schwierigkeiten. Auf der Basis des [Chikagoer Abkommens](#) von 1944 sind solche einseitigen Maßnahmen rechtlich in der Regel nicht gedeckt. Andererseits müssen aber Anreize geschaffen werden, die beispielsweise die Entwicklung und den Einsatz umweltgerechter Technologien unterstützen. Hier kann die internationale Komponente auch Vorteile aufweisen, da so eine schneller Verbreitung der Technologien möglich ist. Hat ein Hersteller für neue Flugzeugantriebe umweltgerechte Technologien entwickelt, so werden sie bei Neuerwerbung von Luftfahrtgesellschaften in der ganzen Welt eingesetzt. Man kann nun verschiedene Möglichkeiten zur Reduzierung der Umweltauswirkungen des Flugverkehrs unterscheiden:

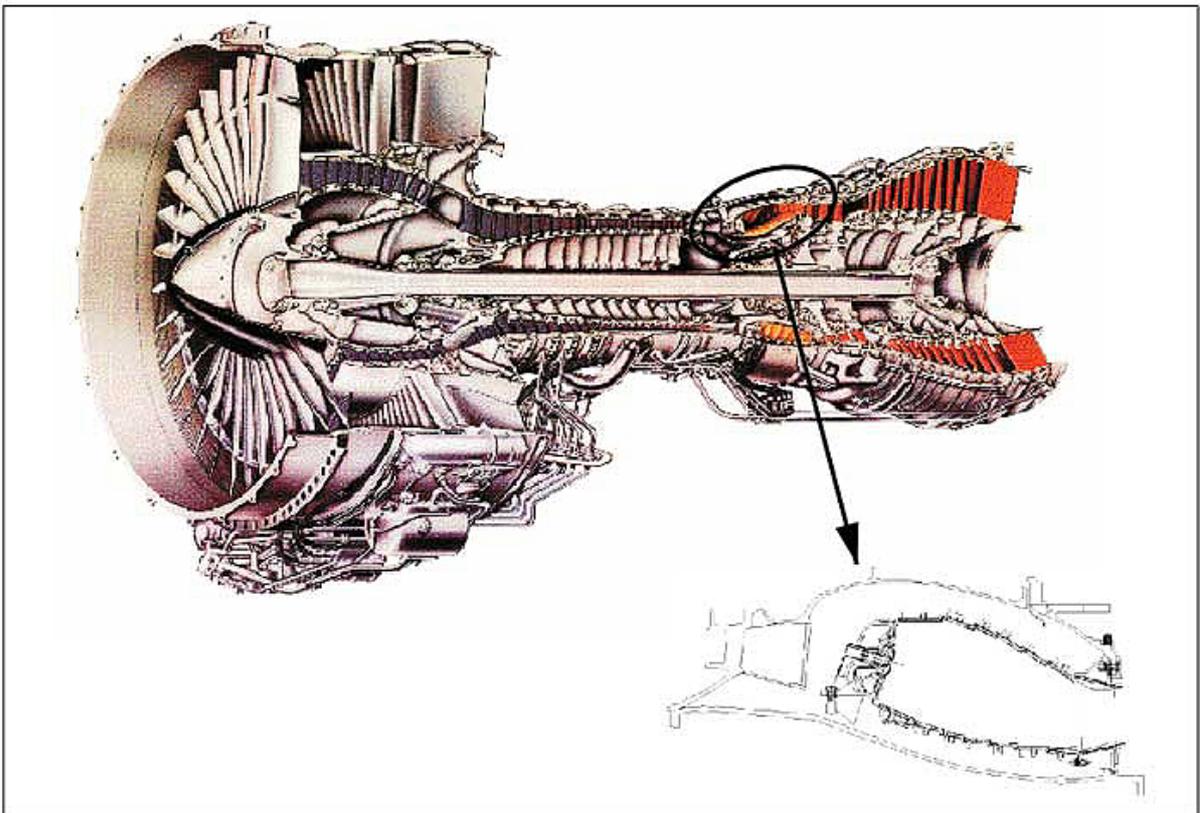
- 1) technische Maßnahmen: Hier handelt es sich darum, dass von der Luftfahrtindustrie (Triebwerkshersteller und Flugzeugbauer) neue umweltgerechte Technologien entwickelt und dem Markt bereit gestellt werden. Dies kann sich auf emissionsärmere Motoren oder aerodynamisch günstigere Flugzeugrumpfe erstrecken.
- 2) ordnungsrechtliche Maßnahmen: Regierungen, die Europäische Kommission und im Falle der Luftfahrt auch die Vollversammlung der [Internationalen Zivilluftfahrt-Organisation \(International Civil Aviation Organization ICAO\)](#) können Regelungen formulieren, die Luftfahrtgesellschaften auf nationaler, europäischer oder internationaler Ebene eingehalten werden müssen. Beispiele hierfür sind Grenzwerte von Flugzeugtriebwerken.
- 3) Selbstverpflichtungserklärungen der Industrie: Diese sind eng mit dem Punkt 1, der technischen Entwicklung – verknüpft. Ein Beispiel hierfür kann die Erklärung von Luftfahrtgesellschaften sein, neue, emissionsarme Technologien bis zu einem bestimmten Zeitpunkt einzusetzen.
- 4) Ökonomische Maßnahmen: Diese spielen auf internationaler Ebene derzeit eine Hauptrolle. Auch Punkt 3 kann zu diesen Maßnahmen gezählt werden. Es sollen finanzielle Anreize zum Einsatz neuer Technologien geschaffen werden. Ein wichtiges Beispiel ist die streckenbezogene Emissionsabgabe, d.h. eine Abgabe auf die während eines Fluges tatsächlich emittierten Schadstoffe. Ein andere Möglichkeit, die auf internationaler Ebene derzeit diskutiert wird, ist die Einführung eines Emissionshandels auch im Flugverkehr.
- 5) Operative Maßnahmen: Hierzu zählen alle Maßnahmen, die durch Änderung der Fluggestaltung, der Flugsicherung etc. zu einer Minderung des Treibstoffverbrauchs und der Emissionen führt. Ein Beispiel hierfür könnte die Integration der europäischen Flugsicherungssysteme sein, um die Möglichkeit, kürzere Flugrouten zu wählen zu ermöglichen oder durch Defizite bei der Flugsicherung hervorgerufene Verspätung (Fliegen von Warteschleifen) zu eröffnen.

Technische Möglichkeiten zur Reduzierung der Umweltauswirkungen des Flugverkehrs

International, aber auch national gibt es bei vielen Triebwerksherstellern inzwischen Initiativen zur Entwicklung von Triebwerken, die kraftstoffeffizienter, aber auch emissionsärmer sind.

Bei der Entwicklung und dem Betrieb von Triebwerken gibt es das Problem, dass bei niedrigen Laststufen v.a. CO und HC emittiert werden, bei hohen Laststufen v.a. Stickoxide. Bei den Bestrebungen in der Vergangenheit, möglichst treibstoffeffiziente und daher auch ökonomisch arbeitende Triebwerke zu entwickeln, stiegen die Temperaturen in der Brennkammer immer weiter an. Auch die Verbrennungsdrücke wurden erhöht. Dies führte aber dazu, dass in den letzten Jahren die spezifischen Stickoxidemissionen (d.h. der Ausstoß an Stickoxiden pro kg Treibstoff) immer weiter anstiegen. Im Abschnitt Auswirkung der Emissionen des Flugverkehrs ist dargestellt, warum Stickoxidemissionen besonders problematisch sind. Die Lösung dieses sog. Trade-offs zwischen Stickoxidemissionen und Treibstoffeffizienz gilt es zu lösen.

In der folgenden Abbildung ist ein typisches Flugtriebwerk im Schnitt dargestellt. Vergrößert ist die Brennkammer, deren Gestaltung und Funktionsweise ein wichtiges Kriterium bei der Lösung dieses Trade-off-Problems ist.

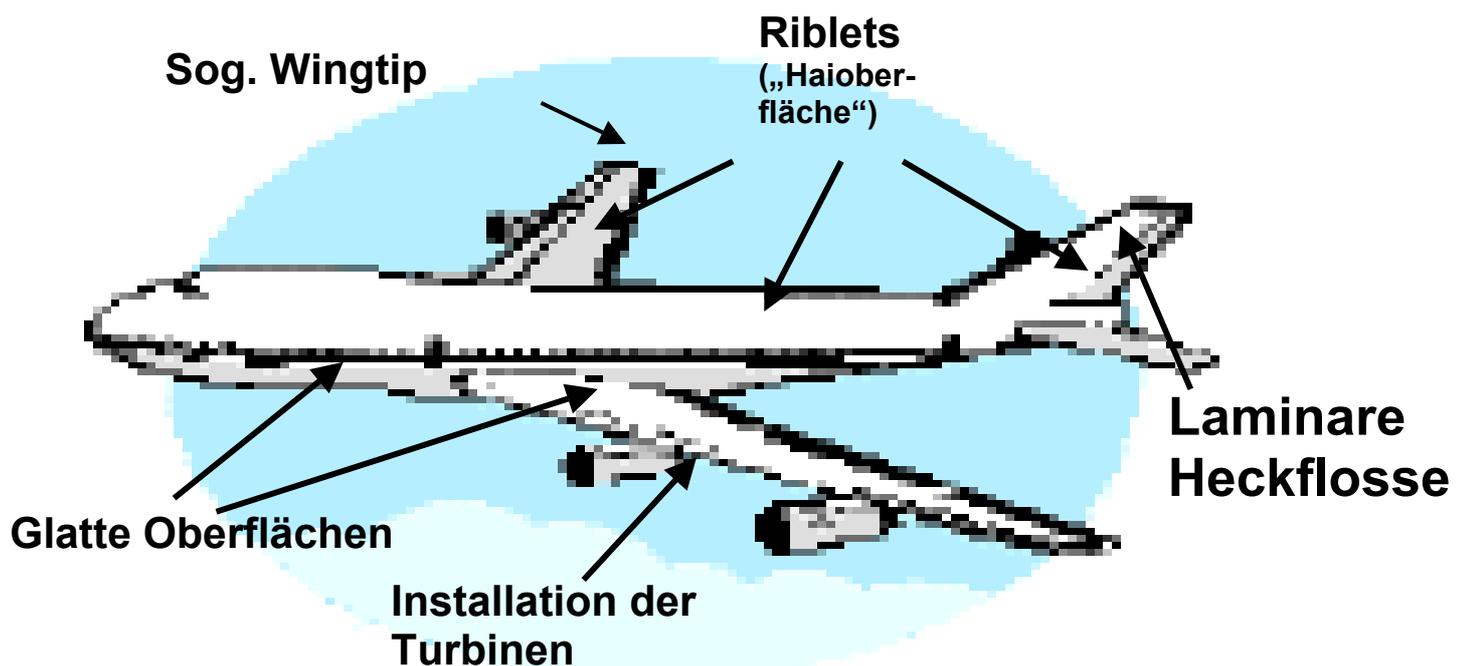


Verschiedene Ansätze hierfür sind derzeit in Vorbereitung, z.B. geteilte Brennkammern, die in einem Triebwerksmuster auch bereits unter der Bezeichnung Dual Annular Combustor (DAC) auch bereits auf dem Markt sind. Bei verschiedenen Triebwerksherstellern werden derzeit Entwicklungsprogramme durchgeführt, die darauf abzielen besonders stickoxidarme Triebwerke zu entwickeln. Mit einer breiteren Markteinführung solcher Technologien ist aber nicht vor 2007 zu rechnen.

Die Emissionen von Triebwerken werden für die Zulassung/ Zertifizierung nur für den sog. LTO-Zyklus, d.h. die Flugbewegungen bis zu einer Höhe von 3000 Fuß (gut 900 m) ermittelt. Die erhaltenen Daten sind in der sog. ICAO-Datenbank niedergelegt. Erfasst werden aber nur der Treibstoffverbrauch „fuel flow“ und die NOx-, HC-, Partikel- und CO-Emissionen. Für diese vier letzten Emissionen gibt es internationale Grenzwerte, die auf ICAO-Ebene formuliert wurden. Mit entscheidend für die Zulassung neuer Triebwerke sind die Einhaltung dieser Grenzwerte, die aber z.T. alt und angesichts der heute im Durchschnitt verwendeten Triebwerke nicht sehr anspruchsvoll. Siehe hierzu auch den Abschnitt „ordnungsrechtliche Maßnahmen“.

Eine große Rolle bei den Entwicklungen spielen auch die lange Lebensdauer der Flugzeuge (25 Jahre) und die lange Entwicklungsdauer neuer Flugzeugmuster. Neue Wege werden zudem selten beschritten.

Neben Verbesserungen der Antriebstechnologie spielt auch die Verbesserung der Aerodynamik eine große Rolle. In untenstehender Abbildung sind einzelne Komponenten hervorgehoben, deren Veränderung oder Einführung günstigere Strömungseigenschaften für das Flugzeug und damit auch eine Verringerung des Treibstoffverbrauchs mit sich bringen kann. Es handelt sich aber nur um eine Auswahl.



So könnten beispielsweise die Turbinen in den Flügel integriert werden, um den Luftwiderstand zu verbessern. Eine aus der Bionik stammende Entwicklung ist die Gestaltung der Oberflächen wie die Hautoberfläche eines Hais. In strömungsmechanischen Untersuchungen wurde festgestellt, dass der Luftwiderstand mit einer solchen „Hautoberfläche“ herabgesetzt wird. Die Alltagstauglichkeit wird derzeit untersucht.

Weitere mögliche Entwicklungen:

Dazu zeichnet sich folgende Entwicklung ab:

Zunächst werden einstufige Mantelpropfans mit Getriebe entwickelt, die zu Advanced Ducted Fan (ADP) als Leitkonzept zukünftiger Triebwerksprojekte führen. Diese Konzepte, die von der Motoren- und Turbinen-Union (MTU) zusammen mit dem amerikanischen Triebwerks-hersteller Pratt & Whitney (PW) untersucht wurden, weisen folgende Vorteile auf:

- deutlich reduzierter Brennstoffverbrauch,
- niedrige Lärmemissionen,
- geringe Abgasemissionen sowie
- reduzierte Betriebskosten.

Zur ADP-Serienproduktion sind jedoch noch neue Technologien zu entwickeln hinsichtlich Getriebe, Verstellfan, schnelllaufendem Niederdrucksystem und leichter widerstandsarmer Gondeln.

Der Mantelpropfan wird mit einem Nebenstromverhältnis von 21,8 betrieben. Eine weitere Erhöhung des Nebenstroms ist durch eine dritte (gegenläufige) Fanstufe im sogenannten CR-Mantelpropfan (CRISP) in der Entwicklung. Mit beiden Propfans könnten die Brennstoffverbräuche und die NO_x-Emissionen mit herkömmlichen Brennkammern um bis zu 25 % reduziert werden. Es ist jedoch nicht zu erwarten, dass diese Technologie innerhalb des Prognosezeitraums die Serienreife erlangt; deshalb wird diese Entwicklung bei der weiteren Prognose nicht berücksichtigt. Entscheidend für den Energieverbrauch des Flugzeuges ist daneben auch das Flugzeuggewicht und der Luftwiderstand (aerodynamische Güte). Das Flugzeuggewicht selbst setzt sich zusammen aus dem Gewicht des leeren Flugzeugs, dem Gewicht des mitgeführten Treibstoffs und der Nutzlast (Passagiere, Gepäck und Fracht). Durch Einführung neuer Werkstoffe wird sich das Eigengewicht der Zelle um ca. 8 % bis 10 % mit direkter Auswirkung auf den Treibstoffverbrauch reduzieren lassen. Durch Laminarisierung der Umströmung der Flügelprofile, z. B. mit Grenzschichtabsaugung und „aktiver“ Oberfläche wird langfristig mit einem Einsparungspotenzial von ca. 15 % bis 20 %, bezogen auf den heutigen Treibstoffverbrauch, gerechnet.

Im Hinblick auf eine mögliche Umweltentlastung wird heute häufig der Einsatz *alternativer Energien* im Verkehr diskutiert. Hierzu gehört neben CNG (Compressed Natural Gas) und flüssigem Methan (LCH₄) auch langfristig der Einsatz flüssigen Wasserstoffs (LH₂). Wasserstoff hat den Vorteil, dass bei der Verbrennung kein Kohlendioxid (CO₂) entsteht, dafür aber ca. 2,5 mal mehr Wasserdampf als bei der Verbrennung von Kerosin. Bei der Verbrennung von Methan entstehen ähnliche Mengen CO₂ und H₂O wie bei der Kerosinverbrennung.

Methan hat vergleichsweise den Vorteil niedriger NO_x-Emissionen, alle anderen Abgaskomponenten treten bei diesen beiden alternativen Kraftstoffen nur in geringen Spuren auf und können bei der Betrachtung vernachlässigt werden. Denkt man an langfristige Perspektiven, so hat Wasserstoff im wesentlichen den Vorteil der niedrigen CO₂-Emissionen bei höherem Wasserdampfanteil, dessen Schädlichkeit noch von Atmosphärenforschern abgeschätzt werden muss. Der CO₂-Vorteil bei der H₂-Verbrennung relativiert sich jedoch bei der Betrachtung der gesamten Kette und ist nur voll auszuschöpfen bei nuklearer Wasserstoffherstellung, während die CO₂-Emission bei der heute üblichen Herstellung aus Erdgas und Kohle die einschließlich der vorgelagerten Prozesse höher ist als die bei der Kerosin-Verbrennung. Die Einsatzmöglichkeiten von Wasserstoff sind nicht zuletzt von der zukünftigen Preisgestaltung konventioneller Energien abhängig sowie von der jeweiligen Verfügbarkeit. In der Antriebsforschung wird davon ausgegangen, dass Wasserstoff frühestens in 50 Jahren konkurrenzfähig auf den Markt kommt, so dass erst langfristig über das Konzept wasserstoffgetriebener Flugzeuge entschieden werden dürfte.

Ordnungsrechtliche Maßnahmen

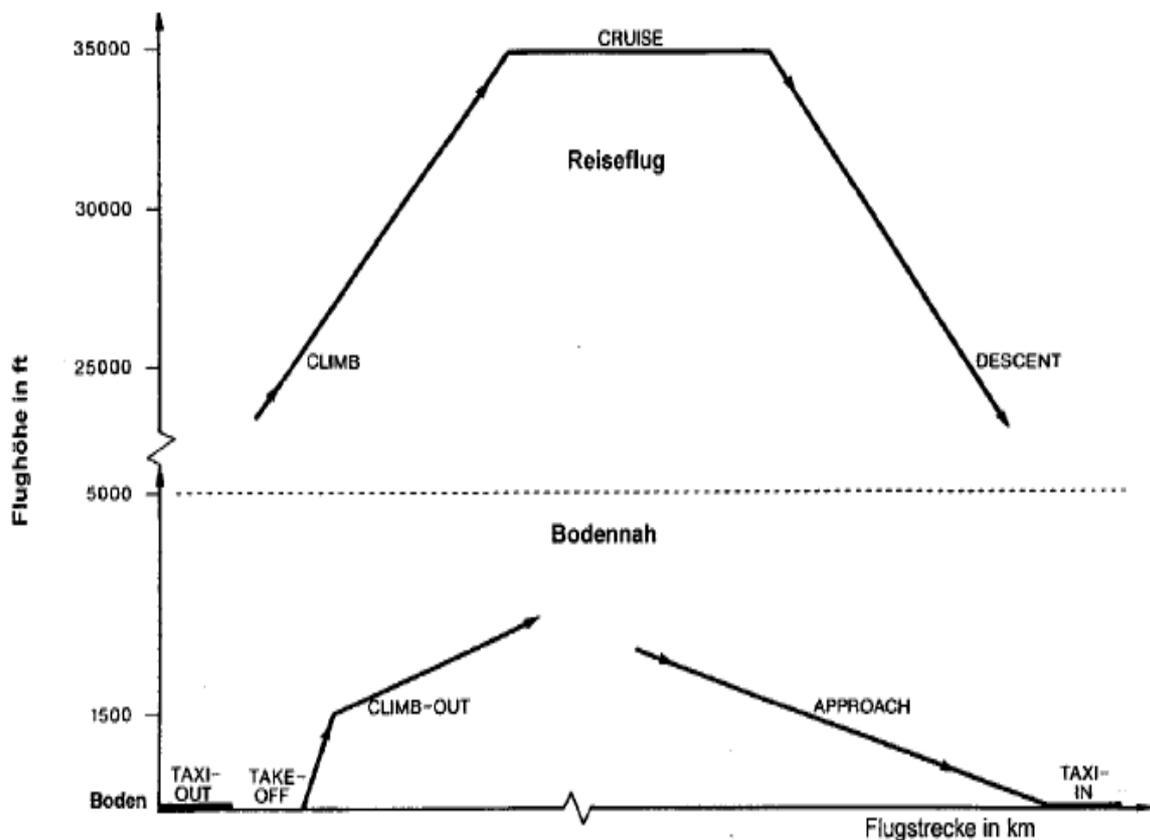
Grenzwerte

Ein klassisches Instrument zur Begrenzung der Umweltauswirkungen von Fahrzeugen oder hier Flugzeugen sind Grenzwerte.

Diese müssen bei der Zulassung neuer Triebwerksmuster eingehalten werden oder müssen alte Triebwerke, die diesen Standards nicht mehr entsprechen, ausgemustert werden.

Folgende Flugphasen werden grundsätzlich gemäß der folgenden Abbildung unterschieden.

Abb.2.3: Aufteilung des Instrumentenflugverkehrs nach Flugzuständen



Die für die Triebwerkszulassung vorgeschriebenen Abgasemissionsgrenzwerte werden auf internationaler Ebene durch die ICAO festgelegt. Sie gelten für alle Strahltriebwerke mit einem Startschub von mehr als 26,7 kN Nennleistung und beschreiben die Zulassungsgrenzen für die Schadstoffe Rauch, Kohlenmonoxid (CO), unverbrannte Kohlenwasserstoffe (HC) und Stickstoffoxide (NO_x als Summe aus NO und NO₂). Grundlage zur Beurteilung der Emissionswerte sind die im Annex 16 Band II genannten Messverfahren und der standardisierte Start-Lande-Zyklus (LTO-Cycle). In diesem Start-Lande-Zyklus wurden für typische Bewegungsoperationen folgende Triebwerkslastpunkte ermittelt:

Tab. 1: Zertifizierungszyklus für Flugtriebwerke

		Verweilzeiten (Min.)
Take-off	100 % Nennleistung	0,7
Climb	85 % Nennleistung	2,2
Approach	30 % Nennleistung	4,0
Taxi/Leerlauf	7 % Nennleistung	26,0

Unter Einhaltung atmosphärischer Prüfstandsbedingungen und unter Verwendung festgelegter Kerosin-Spezifikationen werden mit Hilfe von lastpunktspezifischen Verweilzeiten Referenzemissionen ermittelt, die in sogenannte charakteristische Werte umgerechnet werden. Diese berücksichtigen die stochastische Streuung der Messwerte, wobei mit steigender Anzahl von durchgeführten, für die Emissionszulassung maßgebende Triebwerkstests die Messwerteerhöhung durch Umrechnungsfaktoren abnimmt. Üblicherweise werden 1 bis 3 Tests durchgeführt und die daraus ermittelten charakteristischen Werte den Grenzwerten vergleichend gegenübergestellt.

Für die in diesem Vorhaben relevanten Strahltriebwerke gelten zur Zeit folgende **Grenzwerte** (jeweils bezogen auf die Nennleistung):

Kohlenwasserstoffe (HC):	19,6 g/kN
Kohlenmonoxid (CO):	118 g/kN
Ruß (Smoke-Number):	83,6 (F_{∞}) ^{-0,274} maximal 50,0

dabei bedeuten

P_{∞} : Druckverhältnis zwischen Verdichter-Auslaß und -Einlaß bei Nennleistung

F_{∞} : Nennleistung des Triebwerks bei normalen atmosphärischen Bedingungen (Seehöhe) in kN

Komplizierter gestaltet sich die Festlegung des Grenzwertes für Stickoxide, der 1999 zum dritten Mal angepasst wurde. Dabei beginnt die Zertifizierung ebenfalls erst für Triebwerke mit einem Schub von mehr als 26,7 kN, wobei bis zu einem Schub von 89 kN der sog. CAEP II-Grenzwert gilt.

Dieser definiert sich wie folgt:

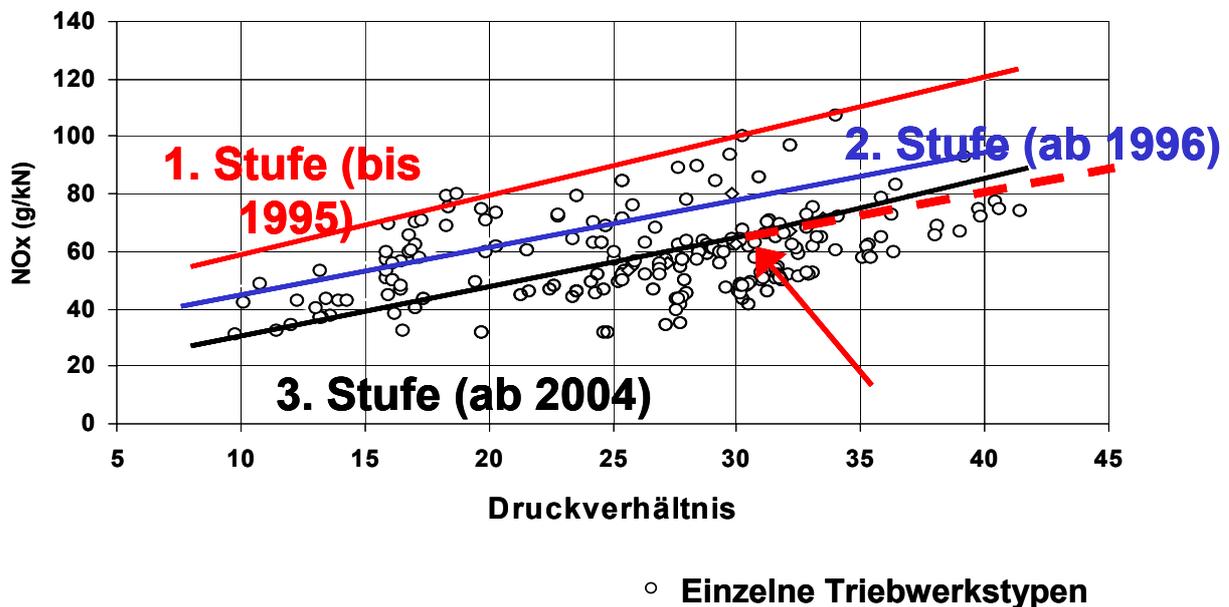
ab 1996/2000

$$(32 + 1,6 p_{\infty}) \text{ g/kN}$$

Für Triebwerke mit einem Druckverhältnis > 30 und einem Schub > 89 kN gelten die Grenzwerte, die in untenstehender Grafik anhand einer Grenzwertgeraden dargestellt sind. Zu beachten ist der Knick (erkennbar an der durchgezogenen, rot gestrichelten Linie) ab einem Druckverhältnis von 30, der bei einem Druckverhältnis von 62,5 wieder auf den alten Grenzwert (die Gerade darüber) zurückführt. Dieser Knick wurde in Absprache mit der

Industrie festgelegt, weil sonst manche der heute noch betriebenen Triebwerke diesen nicht hätten einhalten können.

Abb. 2: Darstellung der ICAO-Grenzwertgeraden bis $p_{\infty} = 45$



Obwohl der CAEP IV-Grenzwert (3. Grenzwertstufe) erst 2004 vollständig in Kraft tritt, unterschreiten bereits heute eine Vielzahl von Triebwerken der Grenzwert bereits deutlich, so dass effektiv kein richtiger Anreiz für den Einsatz neuer Technologien geschaffen wird.

Derzeit wird auf ICAO-Ebene darüber diskutiert, den NOx-Grenzwert weiter abzusenken. In den zuständigen Arbeitsgruppen wird auch über Möglichkeiten zur Absenkung von HC und CO gesprochen. Zudem sollen Möglichkeiten zur Zertifizierung von Triebwerken auch für die bislang nicht erfassten Flugphasen cruise, climb und descent gesucht werden.

Lokale Grenzwerte

Neben Grenzwerten, die bei der Zertifizierung von Flugtriebwerken eine Rolle spielen, sind solche Grenzwerte für den Flugverkehr von Bedeutung, die für die lokale Luftqualitätssituation gelten. An Flughäfen entstehen durch startende und landende Flugzeuge, aber auch durch Vorfeldfahrzeuge, Reisende in Fahrzeugen, Hilfsturbinen etc. Belastungen, die zu Überschreitungen dieser lokalen Grenzwerte, vor allem der Stickoxidgrenzwerte führen.

Weitere ordnungsrechtliche Maßnahmen

Beschränkung des Kurzstreckenverkehrs

Eine nationale ordnungsrechtliche Maßnahme mit relativ großer Eingriffstiefe wäre die Einschränkung des Kurzstreckenverkehrs. Dabei wird davon ausgegangen, dass bei Relationen mit Distanzen bis 500 km und bis 800 km Alternativen zum Luftverkehr vorhanden sind. Die Reaktionen der Nachfrager auf einen generellen Ausschluss von Flügen dieser Distanzklassen würden in der Verlagerung vor allem zugunsten der Hochgeschwindigkeitsbahnen und in einem gewissen Umfang auch in der Reduzierung der

Reisetätigkeit bestehen. Da die Umsetzung dieser Maßnahme freie Slots für den Mittelstrecken- und Fernverkehr schafft und dieser Umstand damit sogar expansiv auf die Verkehrsleistungen im Luftverkehr wirken kann, wäre im Sinne der Emissionsminderung eine Flankierung mittels kapazitätsbeschränkender Maßnahmen notwendig.

Slotvergabe

Ebenfalls im gemäß des Ordnungsrechtes könnte ein nach ökologischen Belangen verändertes Verfahren zur Vergabe von Slots in Erwägung gezogen werden. Gegenwärtig erfolgt die Vergabe von Zeitnischen für Starts und Landungen an Flughäfen mit Kapazitätsproblemen, die vom jeweiligen EU-Mitgliedsstaat als „vollständig koordiniert“ erklärt worden sind, durch einen Koordinator. Bei der derzeit anstehenden Reform des Vergabeverfahrens spielen vor allem wettbewerbsrechtliche Fragen eine Rolle. Die Vergabe von Slots könnte neben anderen Kriterien an die ökologischen Eigenschaften des zur Verwendung vorgesehenen Flugzeugtyps geknüpft werden. Hiermit würde als Zielsetzung die Minderung der spezifischen Emissionen verfolgt. Wegen der gegenwärtig unvollständigen Erfassung der Flugbewegungen durch das Verfahren der Slotvergabe (nur Flughäfen, die als „vollständig koordiniert“ gelten), ist die Slotvergabe ohne Ausweitung auf alle Flughäfen nicht geeignet. Wegen der Möglichkeit, die spezifischen Emissionen auch mittels anderer Maßnahmen zu beeinflussen (Abgaben, freiwillige Vereinbarung), wird die ökologische Slotvergabe nicht weiter berücksichtigt.

Selbstverpflichtungserklärungen der Industrie

Selbstverpflichtungserklärungen der Luftverkehrsunternehmen könnten die Bereitschaft erhöhen, den Luftverkehr anbieterseitig stärker nach ökologischen Gesichtspunkten zu optimieren. Dieses Eigeninteresse ist zwar - wie Umweltberichte einzelner Luftverkehrsunternehmen zeigen - z. T. vorhanden, bedarf jedoch der branchenweiten Stärkung. Freiwillige Vereinbarungen könnten grundsätzlich ein neues Verständnis für konsensorientierte Politikinstrumente im Umweltsektor eröffnen, wobei ihr komplementärer Einsatz zu anderen Politikinstrumenten besonders wirksam sein kann. Bei der Festlegung von freiwilligen Vereinbarungen wäre darauf zu achten, dass bestimmte Voraussetzungen wie die stringente Festlegung und Quantifizierung von Zielen, eine rechtliche Bindung erhalten sowie das Monitoring von Entwicklungen und die Sanktionierung von Zielverfehlungen gewährleistet werden.

Innerhalb des Zeitraumes bis 2020 könnte eine europaweit eingeführte Selbstverpflichtungserklärung dazu dienen, während des Zeitraums der Einführung bis zur vollen Entfaltung möglicher fiskalischer Maßnahmen (2002 bis 2010) einen zusätzlichen emissionsreduzierenden Effekt zu erzielen. Als Bezugsbasis ist der Ausstoß von CO₂ und NO_x pro Personenkilometer (Tonnenkilometer werden umgerechnet) durchschnittlich über die gesamte Flotte geeignet. Die Fluggesellschaften können diese spezifischen Emissionen sowohl auf technischem Wege, d.h. durch die beschleunigte Modernisierung ihrer Flugzeugflotten als auch durch weitere Verbesserungen bei der Auslastung erreichen.

Grundsätzlich ist den Selbstverpflichtungserklärungen ein hoher Stellenwert beizumessen. Die Vielzahl der einzubindenden Akteure – wie Triebwerks- und Flugzeughersteller, Luftverkehrsgesellschaften, Flughäfen, Flugsicherung – erschwert die Umsetzung allerdings erheblich.

Ökonomische Maßnahmen

Ökonomischen, marktwirtschaftlichen Maßnahmen wird derzeit eine große Bedeutung beigemessen. Sollten die derzeit angestoßenen Entwicklungen so fortgeführt werden, dann ist davon auszugehen, dass sie neben den im [Kapitel Grenzwerte](#) erläuterten Maßnahmen die zentrale Bedeutung bei den Emissionen des Flugverkehrs zukommt.

Wesentliche marktwirtschaftliche Instrumente sind:

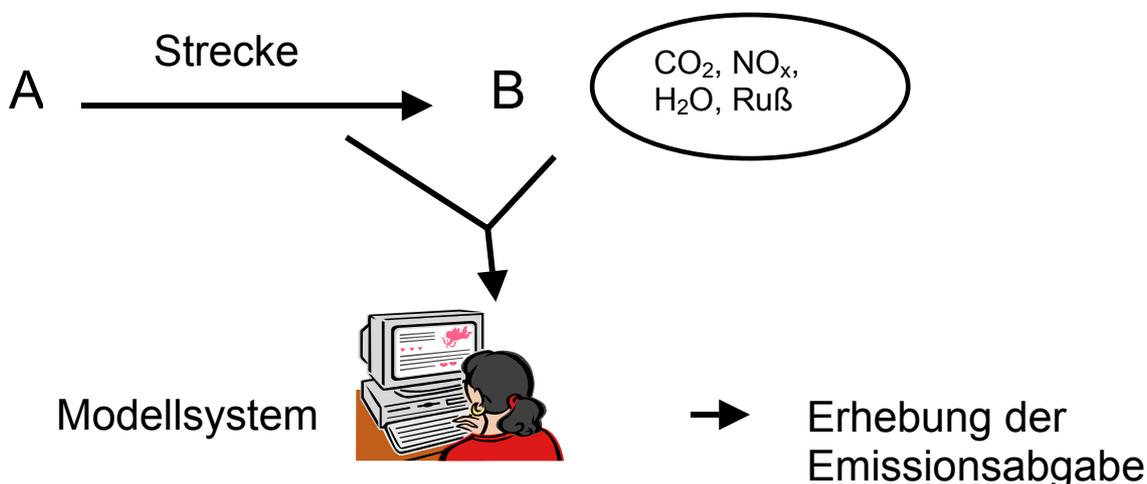
- 1) Abgaben oder Steuern
- 2) Emissionshandel

Abgaben und Steuern

Streckenbezogene Emissionsabgaben

Es handelt sich hierbei um eine Abgabe auf die während eines Fluges tatsächlich emittierten Schadstoffe, wobei Kohlendioxid und Stickoxide im Vordergrund stehen. Mittels eines Modellsystems werden die Emissionen für jedes Flugereignis berechnet und dann über ein bestimmtes Umrechnungsverfahren, das im politischen Prozess festzulegen ist, die Höhe der Abgaben ermittelt. Hierbei erscheint es zweckmäßig die Abgabe zusammen mit der Flugsicherungsgebühr zu erheben. Auf diese Weise sind essentielle Daten über das Flugereignis bereits verfügbar.

In der nachfolgenden Grafik ist das Verfahren für die Erhebung einer Emissionsabgabe noch einmal dargestellt.



Es wird mit einer Emissionsabgabe zum einen ein Anreiz dafür geschaffen, emissionsärmere Technologien einzusetzen, zum anderen wird die Nachfrage über gestiegene Kosten gedämpft.

In einer Studie (UBA-Texte 17/01) wurde eine Emissionsabgabe in hoher und niedriger Form untersucht. Demnach kann nur eine hohe Emissionsabgabe (z.B. 150 DM/ kg NO_x und 0,69 DM pro kg CO₂) eine nachhaltige Abmilderung beim sehr starken zu erwartenden Wachstum der Emissionen erreichen. Das geschilderte Beispiel würde einem Kerosinpreis von über DM 3,00 bedeuten, was in der Praxis nicht umsetzbar ist. Und mit einer solch hohen Emissionsabgabe könnte auch nur eine Abschwächung des Wachstums um 25 % bis 2020 gegenüber 1995 erreicht werden.

Dennoch ist die Emissionsabgabe derzeit das geeignetste Mittel, um die Emissionen des Flugverkehrs gegenüber dem Trend zu reduzieren. So wird sowohl auf Ebene der Internationalen Zivilluftfahrt-Organisation ([ICAO](#)) als auch bei der Europäischen Kommission dieser Weg verfolgt.

Auf ICAO-Ebene ist die endgültige Umsetzung aber noch nicht gesichert, auf EU-Ebene ist nicht mit einer Einführung in den nächsten drei Jahren zu rechnen.

Fazit: Das Umweltbundesamt sieht in der streckenbezogenen Emissionsabgabe das geeignetste Mittel, um überhaupt eine Abschwächung bei den Emissionen und den Umweltauswirkungen des Flugverkehrs zu erreichen.

Emissionsbezogene Landegebühren

Emissionsbezogene Landegebühren werden national und international als hilfreiches Instrument angesehen, um zu einer Verbesserung der lokalen Luftqualität im an von Flughäfen beizutragen. Im Vordergrund stehen dabei Emissionen von Stickoxiden, nachrangig die von unverbrannten Kohlenwasserstoffe (UHC). In Schweden und der Schweiz wurden solche emissionsbezogenen Landegebühren bereits eingeführt ([Info hierzu in englischer Sprache](#)). Bei den dortigen aufkommensneutralen Verfahren werden die Flugzeuge gemäß ihrer Triebwerksemissionen (NO_x, UHC) in sechs oder fünf Klassen eingeteilt, wobei für Flugzeuge der jeweils emissionsärmsten Klasse kein zusätzliches Entgelt gezahlt werden muss. Es gibt vereinzelte Hinweise darauf, dass diese Landegebühren zu einem gezielten Einsatz „sauberer“ Maschinen durch die Luftfahrtgesellschaften führen, wobei sich dieser Trend noch nicht restlos bestätigt hat. Ein solches emissionsdifferenziertes Landeentgelt ist – neben der Verbesserung der Luftqualität - dazu geeignet, die Entwicklung und Markteinführung emissionsärmerer Technologie zu beschleunigen. Voraussetzung ist, dass durch die Klasseneinteilung und die Höhe der Gebühr hinreichender Anreiz geschaffen wird.

Das Konzept der Landegebühren wird sowohl vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Wohnungswesen (BMVBW) als auch vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) verfolgt. Derzeit wird ein Verfahren ausgearbeitet, das in Deutschland zum Einsatz kommen soll. Im Auftrag des BMVBW erarbeitet das [Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt \(DLR\)](#) derzeit ein entsprechendes Verfahren.

Das UBA sieht in den emissionsdifferenzierenden Landegebühren keinen Ersatz für die streckenbezogenen Emissionsabgaben, sondern nur als ein Instrument für die Verbesserung der Luftqualität im lokalen Bereich sowie als Anreiz für die Entwicklung besonders aber den Einsatz neuer, umweltschonender Technologien.

Schadstoffminderung durch die Landegebühren:

Die Einführung der emissionsbezogenen Landegebühren kann eine Reduktion der Stickoxide im Flughafennahbereich bewirken. vor allem in Hinblick auf den rasch wachsenden Flugverkehr kann auf diese Weise die Überschreitung von Grenzwerten (NO_x, Ozon) zukünftig umgangen werden.

Kerosinsteuer

Die Kerosinsteuer wird regelmäßig auf nationaler und internationaler Ebene diskutiert. Der gewerbliche Flugverkehr ist bei der Zahlung einer Steuer auf Kerosin ausgenommen. Basis hierfür sind neben den Regelungen auf ICAO-Ebene v.a. zahlreiche bilaterale Abkommen im Luftverkehr, die eine Besteuerung des mitgeführten oder an Bord genommenen Flugkraftstoffs verbieten.

Die Diskussion über die Kerosinsteuer wird auf nationaler Ebene häufig mit Hinweis auf die Ungleichbehandlung unterschiedlicher Verkehrsträger belebt. So muss die Bahn für ihre Treibstoffe Steuer bezahlen, nicht aber der Flugverkehr.

Diskutiert wird ebenfalls die Möglichkeit mit einer niedrigen Kerosinsteuer internationale Umweltschutz-Anstrengungen zu finanzieren (z.B. Agenda 21). Diese an sich interessante Möglichkeit wird aber immer wieder durch die gesetzlichen Regelungen problematisch. Gegenüber einer streckenbezogenen Emissionsabgabe weist die Kerosinsteuer auch den deutlichen Nachteil auf, dass nur die dem Treibstoffverbrauch proportionalen Emissionen erfasst werden. Aus Umweltsicht bedeutet dies, dass die für die Klimaerwärmung ([LINK zu Kap. Klimaerwärmung, Wirkung von Stickoxiden](#)) relevanten Stickoxidemissionen nicht erfasst werden. Somit ist die Kerosinsteuer als Steuerungsinstrument nur bedingt geeignet.

In der vom UBA beauftragten Studie „Maßnahmen zur verursacherbezogenen Schadstoffreduzierung des zivilen Flugverkehrs“ (UBA-Texte 17/01, [PDF-Link zu Kurzbericht](#)) wurden die Auswirkungen der europaweiten Einführung einer niedrigen und einer hohen Kerosinsteuer untersucht.

Eine niedrige Kerosinsteuer mit einem Abstieg des Literpreises um etwa 40 Pfennige würde eine Abschwächung des Emissionstrends bis 2020 gegenüber dem Trend ab 1995 um etwa 5 % bedeuten. Eine hohe Kerosinsteuer beinhaltet die Möglichkeit, dass ankommende Flugzeuge notwendigen Treibstoff bereits bei der Ankunft mitführen (z.B. Aufnahme bei Zwischenlandungen in Drittländern), um so die Zahlung zu umgehen.

Eine globale Einführung der Kerosinsteuer ist politisch derzeit nicht möglich.

Fazit: Eine niedrige Kerosinsteuer kann als Finanzierungsinstrument und zur Beseitigung der Ungleichbehandlung verschiedener Verkehrsträger (Bahn gegenüber Flug) sinnvoll sein. Politisch und rechtlich ist sie allerdings nur sehr schwer umsetzbar. Eine hohe Kerosinsteuer ist auf europäischer Ebene wegen von „Tankering“-Problemen nur bedingt sinnvoll. Umweltpolitisch ist eine streckenbezogene Emissionsabgabe sinnvoller.

Operative Möglichkeiten

In diesen Bereich fallen all jene Maßnahmen, bei denen durch betriebliche Maßnahmen, durch Gestaltung des Flugablaufs Verbesserung bei Treibstoffverbrauch, Lärmentstehung und Emissionsreduzierung erreicht werden.

Viele operative, betriebliche Maßnahmen sind auch für Flughäfen zu verwenden.

In der Folge eine kurze Aufzählung, mit welchen betrieblichen Maßnahmen hier u.a. Verbesserungen erzielt werden könnten:

- Verbesserungen bei der Flugsicherung, z.B. Beseitigung der „Kleinstaaterei“ bei Flugsicherungen in Europa
- Gestaltung der Flugrouten nach ökologischen Gesichtspunkten
- Veränderung der Anfluggestaltung: durch ein kontinuierliches Sinken („continuous approach“) könnte Kraftstoff eingespart werden, wobei hier noch grundlegende Fragen der Flugsicherung gelöst werden müssten
- Einsatz emissionsärmerer Fahrzeuge auf den Flughäfen, z.B. Gasfahrzeuge
- Einsatz von Flugzeugschlepp, d.h. Ziehen der Flugzeuge zum Start mit Zugfahrzeugen – bislang fahren die Flugzeuge treibstoffintensiv zum Startpunkt
- Ersatz von APU („Auxiliary Power Units“) zum Betrieb der Klimaanlage während den Standzeiten auf den Flughäfen durch bodengebundene Energieversorgungseinrichtungen

Maßnahmen zur Reduzierung der Umweltbelastungen an Flughäfen werden im einzelnen in dem entsprechenden Kapitel erläutert ([LINK zu Kap Flughäfen](#))